

2.IEA, 2006 «Renewables Information 2006 – IEA Statistics» - International Energy Agency. Paris. P. 247.

3.Lund J. W., Freeston D. H., Boyd T. L., 2005. «World wide Direct – Uses of Geothermal Energy 2005». – Geothermics, vol. 34. №6 (Dec.), Elsevier, Amsterdam. – pp. 691-727.

4.Безграничний ресурс: український потенціал возобновляемых энергетических ресурсов // Топливно-Энергетический Комплекс. – 2007. – № 8. – С.40-46.

5.Разанов А.Т. Теплофізичні процеси при формуванні та використанні геотермальних ресурсів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – К., 2007. – 40 с.

Получено 08.02.2008

УДК 628.8

Н.В.ЛАСТОВЕЦ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Рассматриваются возможности применения специальных программных средств для получения скоростных и температурных полей в кондиционируемом помещении. В качестве примера представляется модель тепло- и воздухораспределения в жилом или небольшом офисном помещении, отапливаемом центрально-местной системой кондиционирования с вентиляторными доводчиками (фанкойлами).

Несмотря на характерное для последних лет исключительно быстрое развитие вычислительной техники и методов численного моделирования самых различных физических процессов и явлений, применение этих методов при решении прикладных задач, связанных с проектированием разного рода технических систем и оптимизацией технологических процессов, все еще остается весьма ограниченным. Это объясняется целым рядом объективных и субъективных причин, к числу которых следует прежде всего отнести вычислительную трудоемкость практических задач, связанную с геометрической сложностью и многообразием физических процессов, определяющих эффективность работы реальных систем, а также трудность освоения современных методов численного моделирования широким кругом инженеров-проектировщиков. В результате в проектно-конструкторской практике сегодня по-прежнему преобладают традиционные “инженерные” методы расчета, использование которых зачастую предписывается соответствующими отраслевыми нормативами. Однако хорошо известно, что применимость таких методов ограничена простейшими типовыми объектами, для которых накоплен достаточно большой объем экспериментальных данных, необходимых для подбора эмпирических констант и функций, входящих в соответствующие расчетные методики.

Применительно к рассматриваемым в данной работе процессам вентиляции и кондиционирования не менее важным недостатком инженерных методов является то, что они не дают практически никакой информации о локальных характеристиках этих процессов (полях скорости, температуры и концентрации примеси). В результате, даже в том случае, когда спроектированная на основе таких методов система в среднем удовлетворяет заложенным при проектировании требованиям, нет никакой гарантии, что она обеспечивает выполнение современных жестких санитарно-гигиенических норм по параметрам воздушной среды в отдельных частях вентилируемого помещения. В первую очередь это относится к нетиповым объектам (стадионам, большим концертным залам, цехам заводов, “чистым помещениям” на фармацевтических и электронных производствах и в медицинских учреждениях и т.д.). Применение стандартных инженерных методик расчета для таких объектов часто приводит к существенным ошибкам в оценке эффективности тех или иных конструктивных решений, а иногда и к качественно неверным выводам об их относительных преимуществах или недостатках, что в свою очередь, оборачиваются большими материальными потерями. В связи с этим, а также в связи с повышением требований к “климатическому комфорту” жилых и производственных помещений, несмотря на наличие отмеченных выше проблем, связанных с применением методов численного моделирования, они постепенно находят все большее практическое использование. В отличие от инженерных методов, они базируются на строгих фундаментальных законах гидродинамики и тепломассопереноса и позволяют получить детальную и достаточно точную количественную информацию о локальных характеристиках вентилируемых и/или охлаждаемых объектов в широком диапазоне изменения конструктивных и режимных параметров. По крайней мере, в принципиальном плане, это открывает перед инженерами-проектировщиками совершенно новые возможности и, в конечном итоге, должно привести к проектированию соответствующих систем с использованием специальных программных средств.

В настоящее время применение методов численного моделирования в рассматриваемой области, как и в других областях техники, опирается, главным образом, на использование так называемых коммерческих компьютерных программ вычислительной гидродинамики (в англоязычной литературе Computational Fluid Dynamics или CFD), например ANSYS, Fluent, представляющих собой “универсальные” вычислительные программы с многофункциональным графическим интерфейсом (пре- и постпроцессорами для ввода исходной информации и

графической обработки полученных результатов). Коммерческие программы позволяют решать достаточно широкий круг прикладных задач гидродинамики и тепломассопереноса. Однако, естественной платой за универсальность таких программ является их сложность и, как следствие, длительность и высокая стоимость разработки. Это, в свою очередь, влечет за собой трудность усовершенствования и развития коммерческих CFD программ по мере появления новых численных методов и углубления физических представлений о рассматриваемых явлениях. Не менее важным недостатком универсальных коммерческих CFD программ является то, что в рамках таких программ крайне затруднено использование различных специальных методов и приемов, позволяющих существенно (иногда на порядки величин) сократить вычислительные затраты за счет учета тех или иных специфических особенностей рассматриваемых конкретных задач. Применительно к процессам вентиляции к числу таких особенностей следует, например, отнести существенно дозвуковой характер течения, с одной стороны, и наличие значительных градиентов плотности, обусловленных неизотермичностью и/или пространственной неоднородностью полей концентраций, – с другой. Известно, что расчет таких течений в рамках полных уравнений Навье-Стокса для сжимаемого газа сопряжен с серьезными вычислительными трудностями, а применение классического приближения Буссинеска, базирующегося на допущении о слабых изменениях плотности среды, может приводить к недопустимо большим погрешностям. Ясно, что при таких условиях более рациональным является использование модели гипозвуковых течений, ориентированной именно на расчет течений данного класса или применение специальных численных методов, разработанных для расчета медленных течений с сильно переменной плотностью. Существенного уменьшения вычислительных затрат можно добиться также за счет учета геометрической специфики задач вентиляции и охлаждения электронной аппаратуры, в частности, того обстоятельства, что большинство объектов, встречающихся в таких задачах, при всем своем многообразии имеет форму прямоугольных параллелепипедов или близкую к ней. Это позволяет избежать необходимости использования неструктурированных сеток, без которых едва ли возможно создание программ, претендующих на описание произвольных геометрических объектов, и, тем самым, значительно сократить как затраты памяти, так и время решения задачи. При этом оптимальное решение задачи может быть найдено лишь на основе разумного компромисса между полнотой математической модели, положенной в основу программы и ее вычислительной эффективностью.

Одним из вариантов такого решения является совместное использование программных средств [1, 2]. Последние версии таких научных вычислительных средств, как Matlab с использованием Simulink и Comsol, позволяют решать задачи распределения температуры и скорости движения воздуха в пределах одной вычислительной среды.

Рассмотрим пример такого решения с помощью программы Comsol [5]. Программа предназначена для решения уравнений в частных производных методом конечных элементов. Важная особенность Comsol заключается в том, что пользователь основное внимание уделяет построению самой математической модели (определение коэффициентов уравнения и граничных условий), а не решению уравнений и визуализации результатов. Рассматривается комната (жилая или кабинет офиса) высотой 2,8 и шириной 4 м с окном 1,4×1,7 м, отапливаемая вентиляторным доводчиком (фанкойлом) центрально-местной системы кондиционирования с расчётными параметрами на выходе из фанкойла: скорость воздуха – 0,42 м/с, температура воздуха – 43 °С. Температура поверхности окна принята исходя из условия превышения температуры точки росы, рассчитанной по i-d-диаграмме состояния влажного воздуха, на 2 °С и равняется 12 °С.

Гидродинамика полуограниченной плоской струи несжимаемой жидкости (воздуха, выпускаемого фанкойлом) и ее теплообмен с охлажденной поверхностью и окружающим воздухом описывается системой дифференциальных уравнений движения, неразрывности и температурного поля [3, [4]:

$$\begin{cases} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla u) \cdot u = \nabla \cdot \left[pI + \eta \left(\nabla u + (\nabla u)^T \right) \right] + F \\ \nabla u = 0 \\ \rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) = Q - \rho \cdot C_p u \nabla T \end{cases}, \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м³; u – скорость, м/с; p – давление, Па; F – внешняя массовая сила (в данном случае гравитационная сила), Н; $\eta \left(\nabla u + (\nabla u)^T \right)$ – напряжения трения для несжимаемой жидкости; C_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении, Дж/кг·°С; T – температура, °С; k – удельная теплопроводность, Вт/м °С; Q – источник тепла, Вт.

При решении уравнений можно пренебречь: силами давления, так как струя затоплена и давление в любой точке объёма помещения практически одинаково; турбулентной вязкостью по оси x , так как она

мала; теплопроводностью вдоль струи по оси x , так как она пренебрежительно мала по сравнению с конвективным переносом тепла в этом направлении.

Система уравнений решается методом конечных элементов с использованием приближения Буссинеска (рис.1).

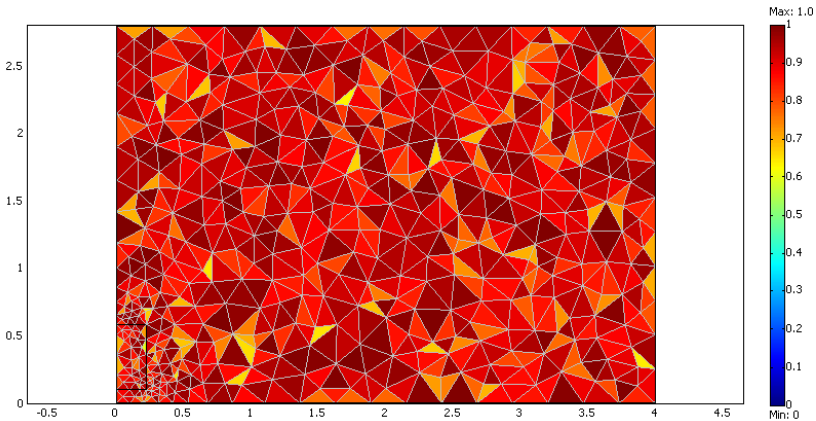


Рис.1 – Расчетная конечно-элементная сетка

Полученные результаты расчетов позволяют с достаточной для изучаемых процессов точностью получать картину распределения температуры и скорости в помещении (рис.2).

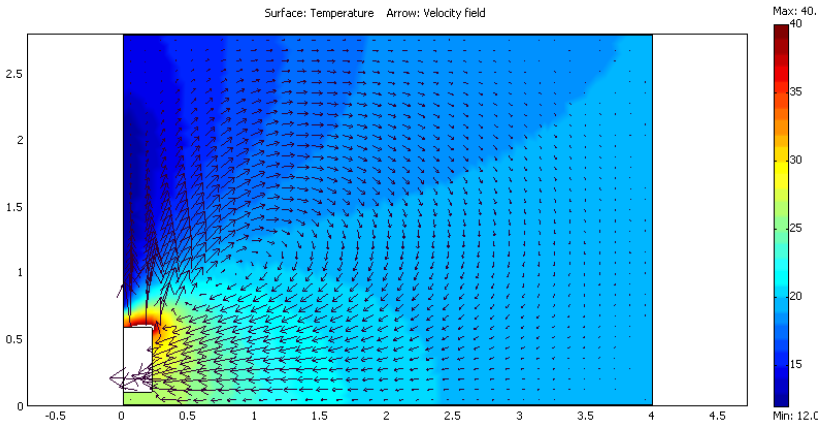


Рис.2 – Распределение температуры и структура потока воздуха в помещении

Этот инструмент можно использовать для решения задач оптимизации и автоматизации работы установок вентиляции и кондиционирования воздуха.

1. Citherlet S., Clarke J.A., Hand J. Integration in building physics simulation // *Energy and Buildings*. – 2001. – Vol. 33, № 5. – P.451-461.

2. Zhai Z., Chen Q., Haves P. & Klems H. On approaches to couple energy simulation and computational fluid dynamics programs // *Building and Environment*. – 2002. – Vol.37, №8, 9. – P.857-864.

3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

4. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

5. COMSOL 2006 <http://www.comsol.com>.

Получено 11.04.2008

УДК 621.3.032

В.М.ПОЛІЩУК, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ РОЗРЯДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Аналізується сучасний стан електронних пускорегулюючих апаратів для живлення розрядних джерел світла з метою визначення шляхів підвищення енергоекономічності освітлювальних установок.

Перспективним напрямком розвитку та вдосконалення систем живлення розрядних ламп (РЛ), які сьогодні є найбільш ефективними перетворювачами електричної енергії в світлову, є широке впровадження електронних пускорегулюючих апаратів (ЕПРА), які забезпечують основні режими роботи таких джерел світла: запалювання та стабілізацію режиму розряду. Застосування ЕПРА дало змогу запровадити живлення РЛ напругою підвищеної частоти, що суттєво розширило функціональні та світлотехнічні можливості освітлювальних установок (ОУ): збільшити світловіддачу та строк служби ламп, зменшити споживання електричної енергії та пульсацій світлового потоку, вагу та габарити установки. Крім того, з'явилась можливість регулювання світлового потоку в широких межах залежно від інтенсивності зовнішнього освітлення, заощаджуючи при цьому до 45% електроенергії [1].

Головною проблемою масового впровадження ЕПРА в теперішній час є його відносно велика (приблизно в два рази) вартість, що обумовлено значно більшою кількістю компонент, що в свою чергу, призводить до зменшення надійності та строку служби апарата. Але з